

Plasma-Schicht Zugang zum geostationären Orbit

H. Korth, M. F. Thomsen, J. E. Borovsky und D. J. McComas

Los Alamos National Laboratory

Los Alamos, New Mexico, USA

November 18, 1999



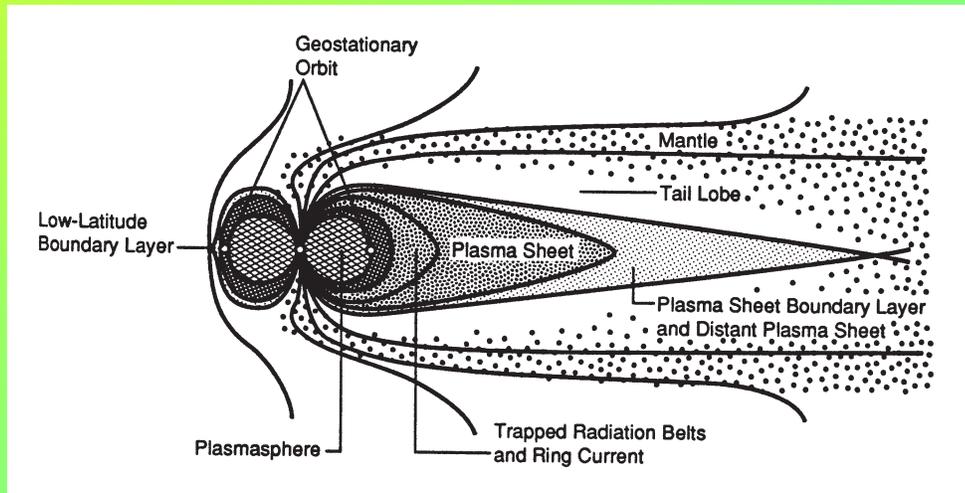
Inhalt

- Einleitung.
- Die LA-Satelliten und das MPA Instrument.
- Statistische Analyse der MPA Daten.
- Drift-Trajektorien und (U,B,K) Koordinaten.
- Einfache Modelle fuer E-Feld und B-Feld.
- Vergleich von Modell und Daten.
- Komplexe Feldmodelle und Ergebnisse.
- Event Study.
- Zusammenfassung.



Die Plasma-Schicht

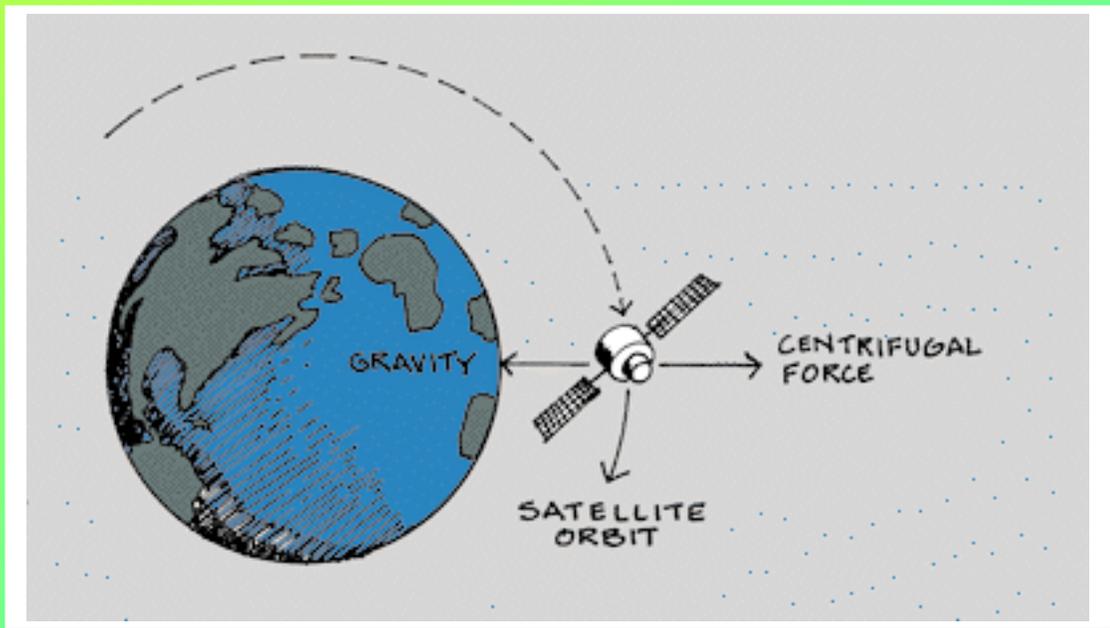
- Die Magnetosphäre der Erde:



- Ein Großteil des Magnetotail-Plasmas ist in der $10 R_E$ dicken Plasma-Schicht konzentriert.
- Zusammensetzung: Sonnenwind (H^+) und ionosphärische (O^+ , H^+) Teilchen.
- $n \approx 0.5 \text{ cm}^{-3}$, $T_p \approx 5 \cdot 10^7 \text{ K}$, $T_e \approx 5 \cdot 10^6 \text{ K}$.

Der geostationäre Orbit

- Ziel: Satellit *blickt* auf konstanten Punkt der Erde.
- Bedingungen:
 - 1.) Kräftegleichgewicht:



2.) Orbit Periode: 1 siderischer Tag $\sim 23\text{h } 56\text{m } 4\text{s}$.

\Rightarrow Orbit Radius: $42,155\text{ km} \sim 6.6 R_E$.

Das MPA Instrument

- MPA = Magnetospheric Plasma Analyzer.
 - 40 Energiekanäle mit logarithmischen Abständen.
 - Energiebereich: $1 \text{ eV}/q \lesssim E_{p,e} \lesssim 40 \text{ keV}/q$.
 - 6 Detektoren decken polare Winkel von 25° bis 155° ab.
 - 10-s Spinperiode ermöglicht Messungen azimuthaler Richtung mit 15° Schrittweite.
- ⇒ Komplette 3-D Verteilung (40 Energies x 24 Azimuths x 6 Polar Angles)!



Die Datenbank

- MPA Daten von drei geostationären Satelliten (LANL): 1990-095, 1991-080 und 1994-084.
- Spingemittelte Teilchenflüsse und Momente.
- Zeitbereich: 1.1.1996 – 31.12.1996.
- Anzahl der Meßwerte: ~ 1 Million.

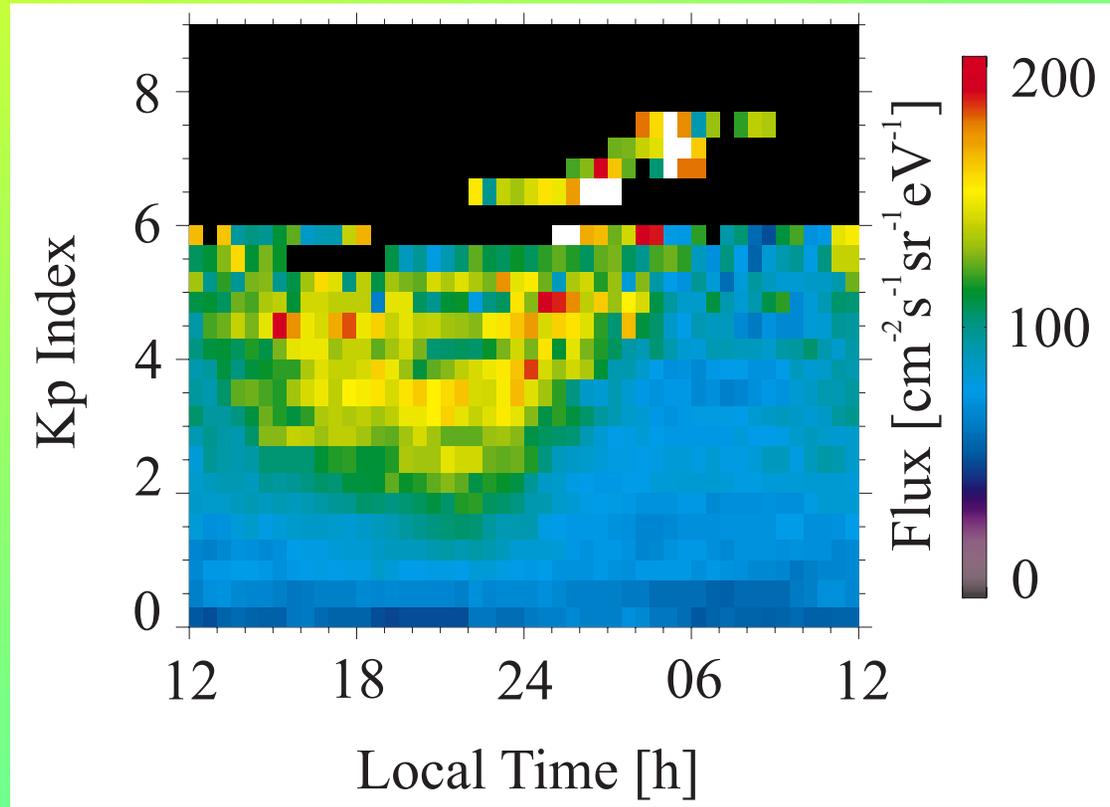


Die Daten Analyse

- Prozedur:
 1. Median Berechnung für $\frac{1}{2}$ h Lokalzeit (LT) Intervall.
 2. Median Werte werden in Bins nach LT and Kp Index sortiert.
 3. Median Werte in jedem LT-Kp Bin werden gemittelt.
- Magnetosheath und Boundary Layer Intervalle wurden ausgeschlossen.

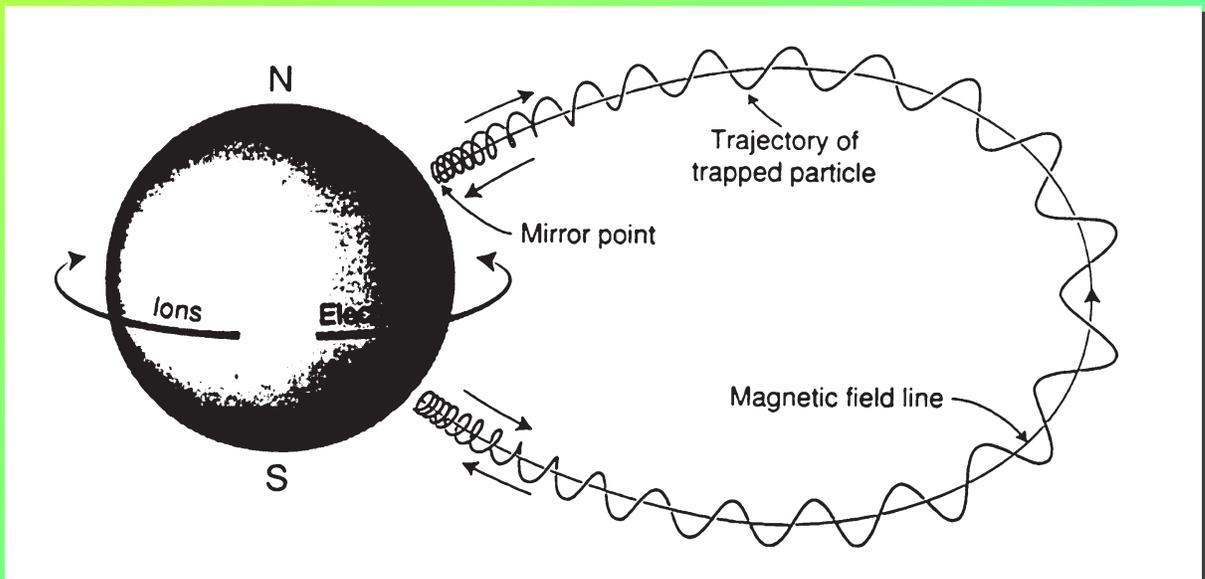


Fluß-Statistik für 31.0 keV Protonen



Teilchenbewegung in der Magnetosphäre

- Bewegungsgleichung: $m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$.
- Gyrationen-, Bounce- und Driftbewegung:



- Driftgeschwindigkeit des Führungszentrums:

$$\mathbf{v}_D = \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2} + \frac{\mathbf{F}_{\text{ext}} \times \mathbf{B}}{q B^2} + \frac{W_{\perp} \mathbf{B} \times \nabla B}{q B^3} + \frac{2W_{\parallel} \mathbf{r}_c \times \mathbf{B}}{q R_c B^2}$$

Driftbahnen geladener Teilchen

- Driftgeschwindigkeit des Führungszentrums:

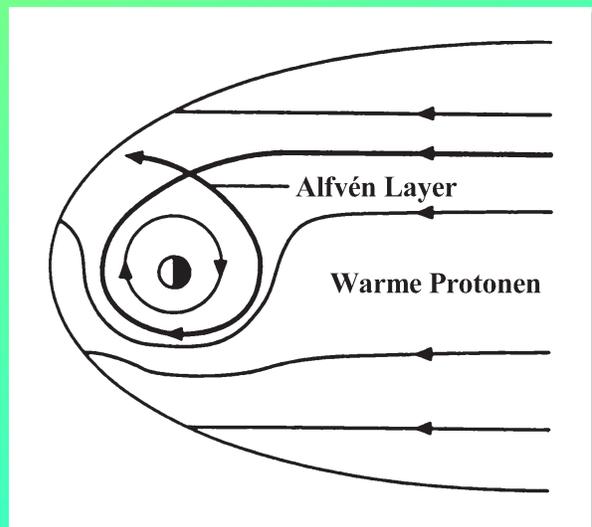
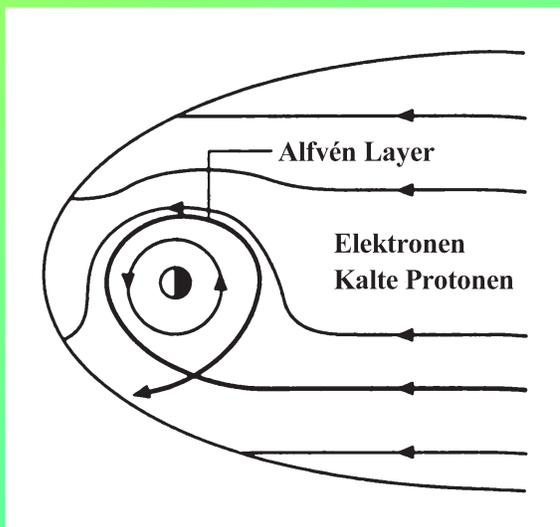
$$\mathbf{v}_D = \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2} + \frac{\mathbf{F}_{\text{ext}} \times \mathbf{B}}{q B^2} + \frac{W_{\perp} \mathbf{B} \times \nabla B}{q B^3} + \frac{2W_{\parallel} \mathbf{r}_c \times \mathbf{B}}{q R_c B^2}$$

- Driftbahnen:

Elektronen

Kalte Protonen

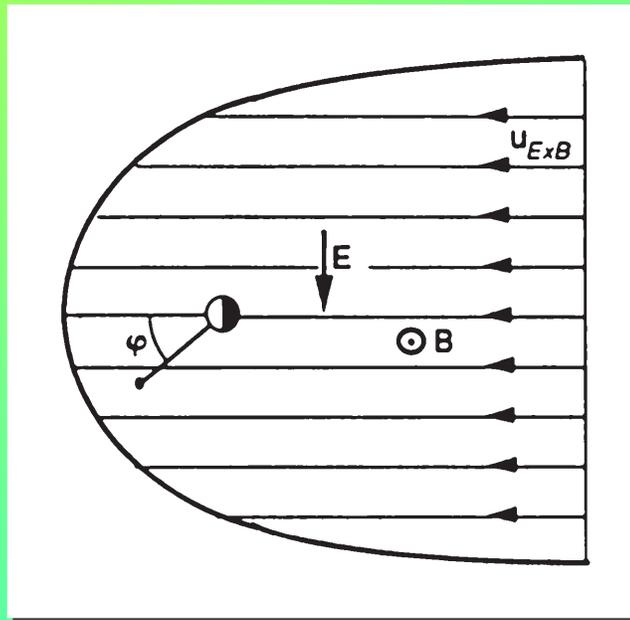
Warme Protonen



Analytische Modelle für E- und B-Feld

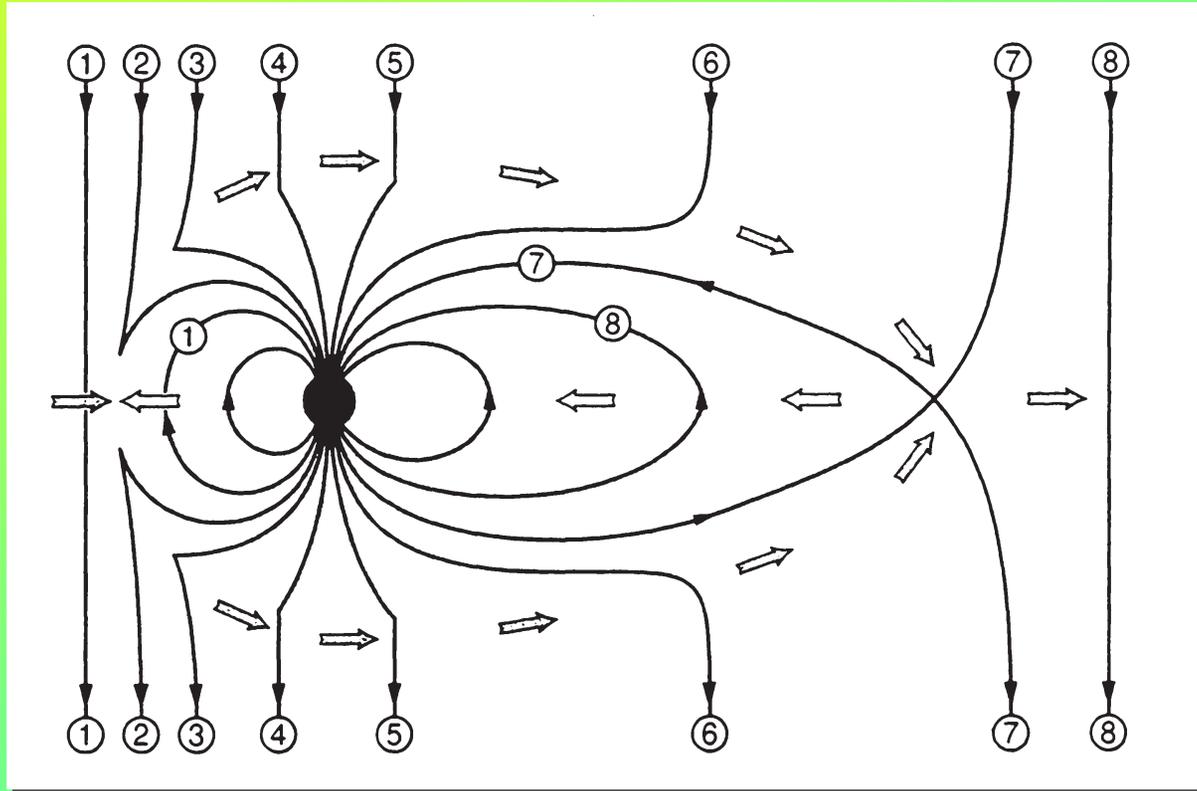
- Dipol Magnetfeld: $B = \frac{B_0}{r^3}$ (Equatorebene).
- Elektrisches Potential nach Volland-Stern:

$$U = -\frac{a}{r} - br^\gamma \sin(\phi).$$

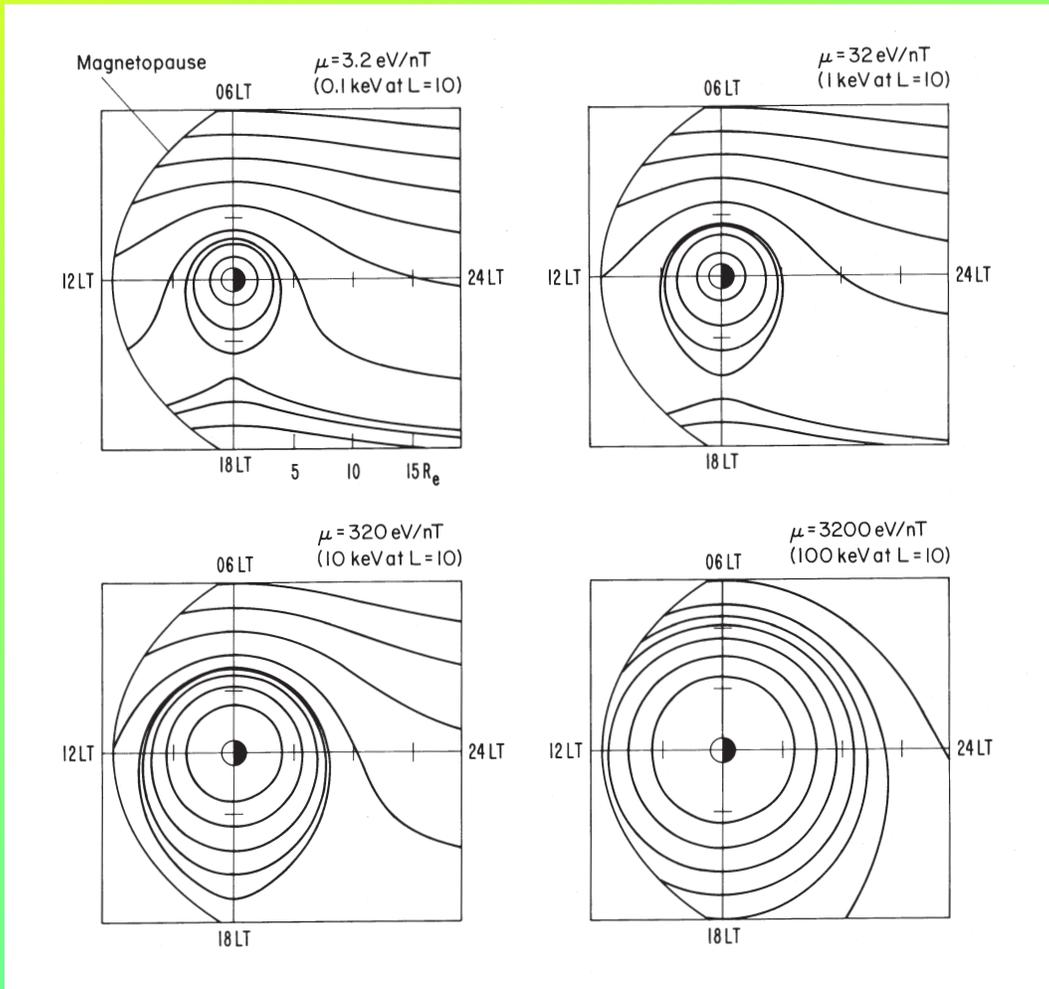


- Maynard und Chen (OGO 3+5), *JGR*, 80, 1009, 1975:
 $b = 0.045 / (1 - 0.159 Kp + 0.0093 Kp^2)^3$ ($\gamma = 2$).

Merging und Reconnection



Driftbahnen von Elektronen



aus Lyons and Williams,
Quantitative Aspects of Magnetospheric Physics, 1984.



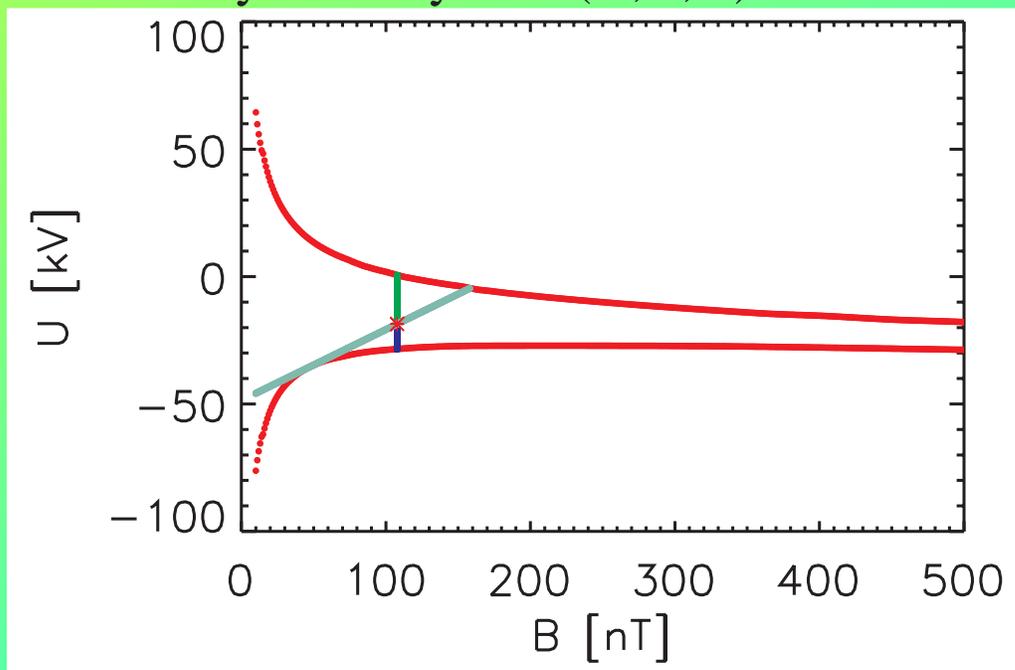
Die (U,B,K) Theorie

- Eingeführt von Whipple, *JGR*, 83, 4318, 1978.

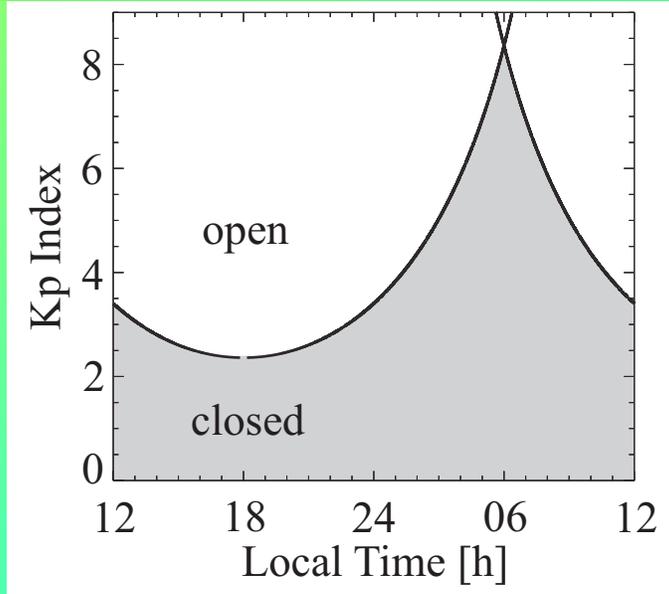
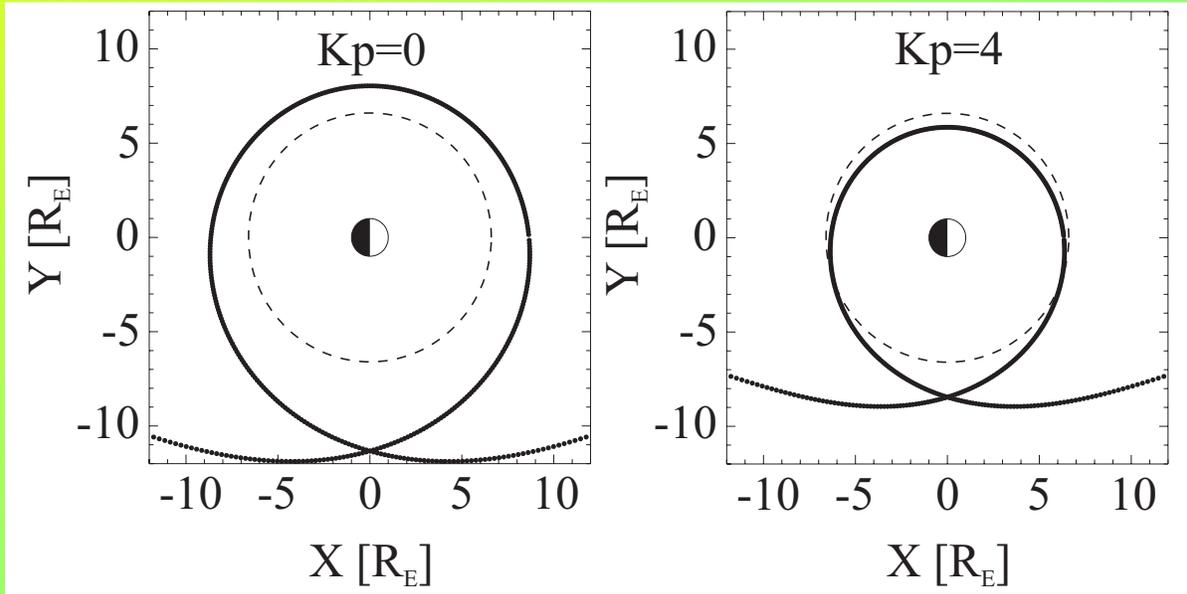
- Gesamtenergie: $W_{\text{tot}} = qU + \mu B_m$,

$$\Rightarrow \frac{\partial U}{\partial B_m} = -\frac{\mu}{q}. \quad (\text{Geraden !})$$

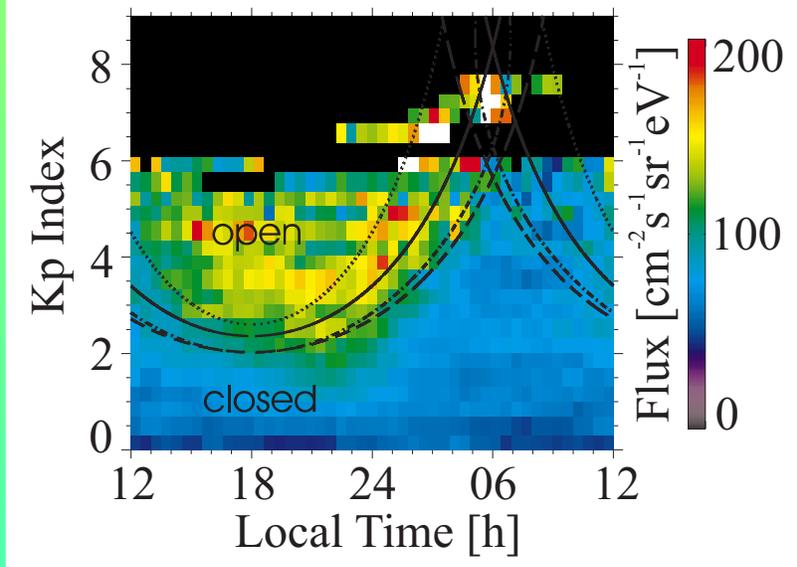
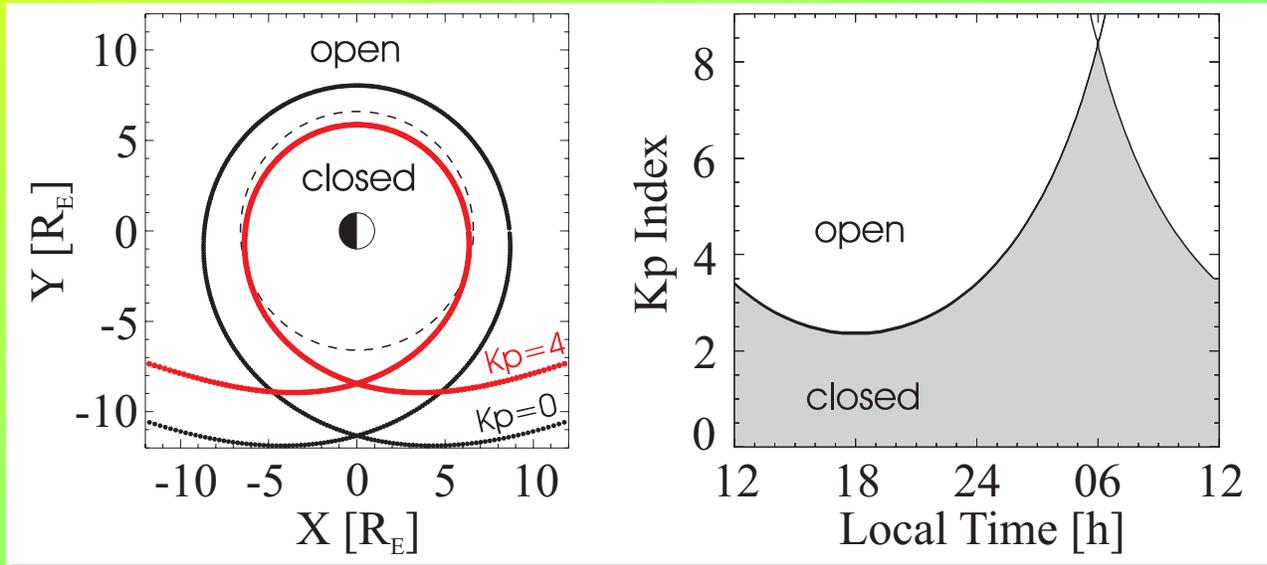
- Alfvén-Layer-Analyse in (U,B,K) Koordinaten:



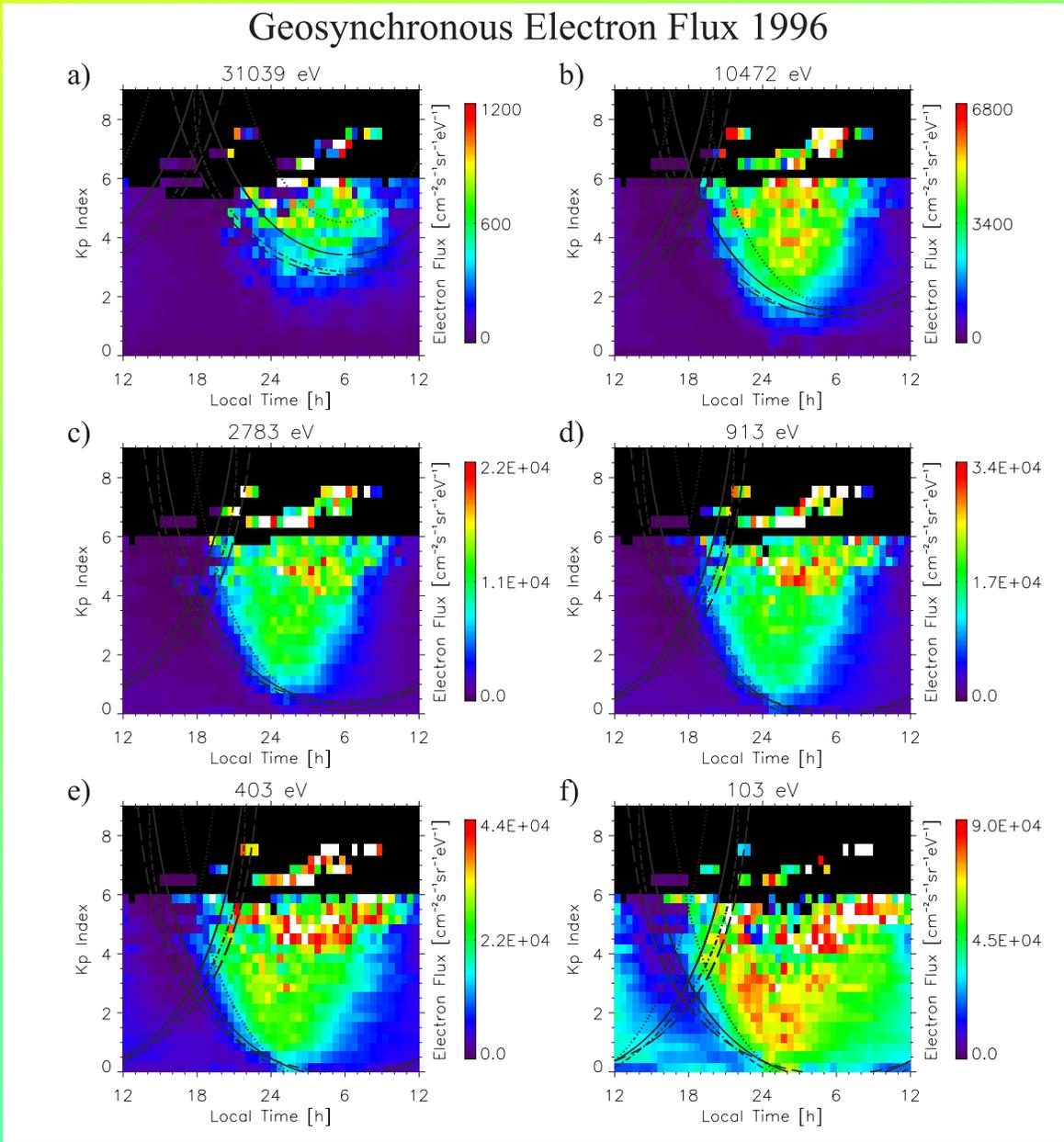
Alfvén Layers für 31 keV Protonen



Driftbahn-Analyse für 31 keV Protonen



Geostationäre Elektronenflüsse 1996



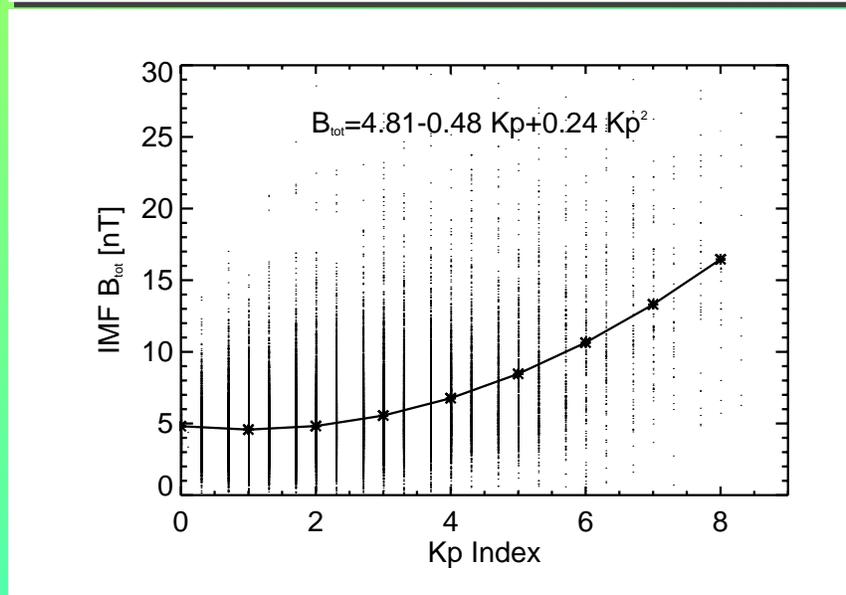
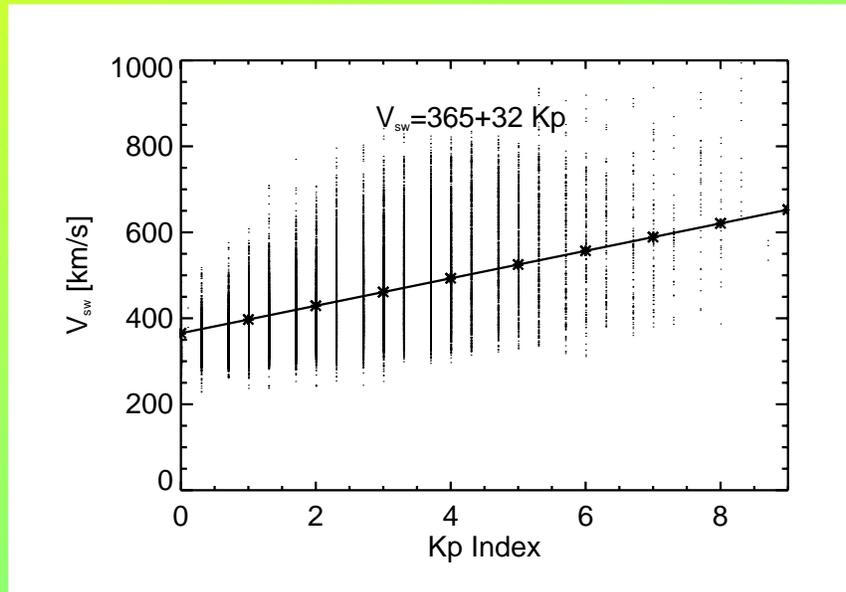
Erweiterung auf beliebige Feldmodelle

- Magnetfeld: Dipol \Rightarrow Dipol + Tsyganenko 89c (Kp).
- Elektrisches Potential: Volland-Stern \Rightarrow Korotation + ...
 - Sojka 86 (Kp, IMF: B_y, B_z).
 - Weimer 96 (v_{sw} , IMF: B_{tot}, θ_{yz} , Dipol Tiltwinkel).

\Rightarrow **Numerische Auswertung.**

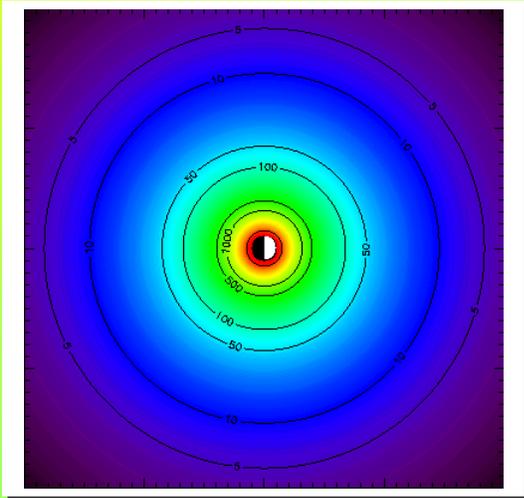


Kp-Parametrisierung des Weimer Modells

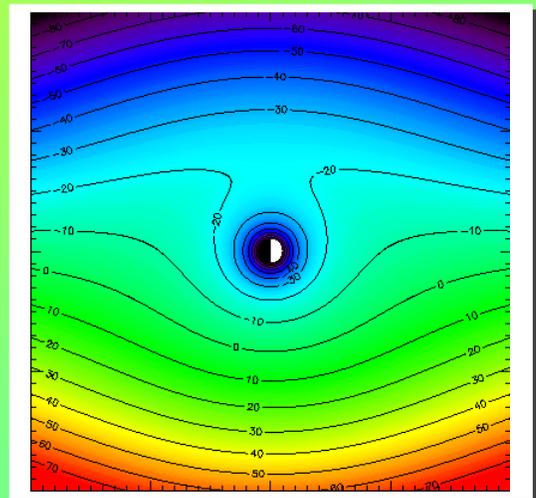


Erweiterung auf beliebige Feldmodelle

Magnetfeld



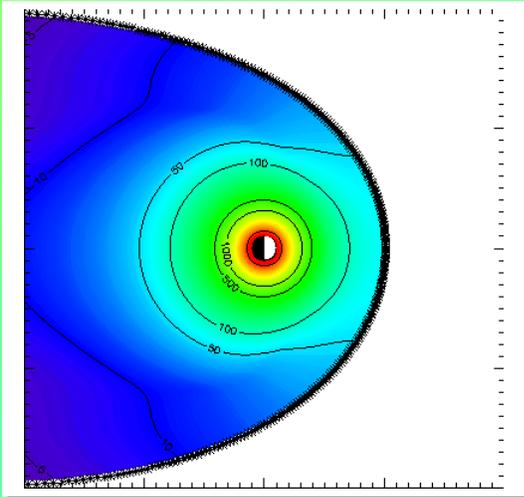
Elektrisches Potential



Dipol



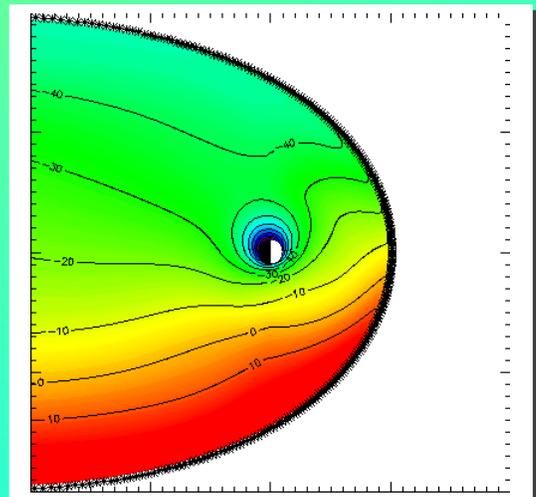
Tsyganenko 89c + Dip.



Volland-Stern

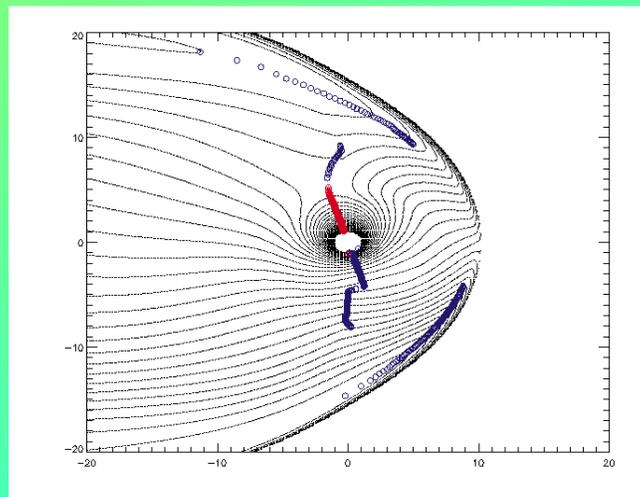
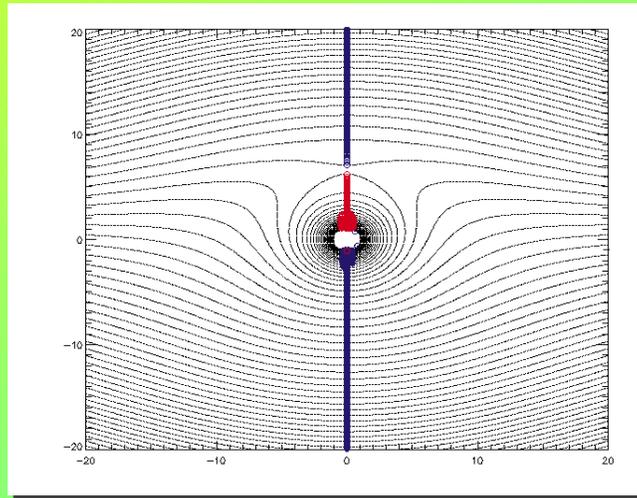


Sojka 86 + Korotation



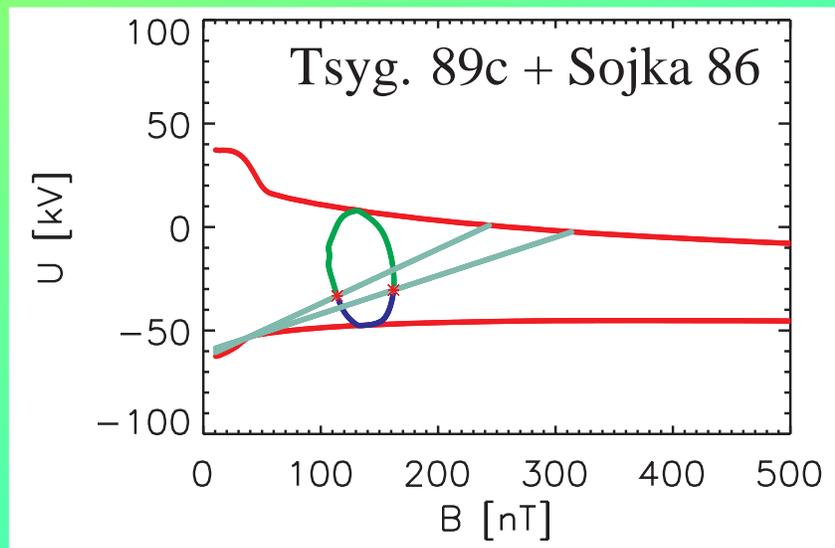
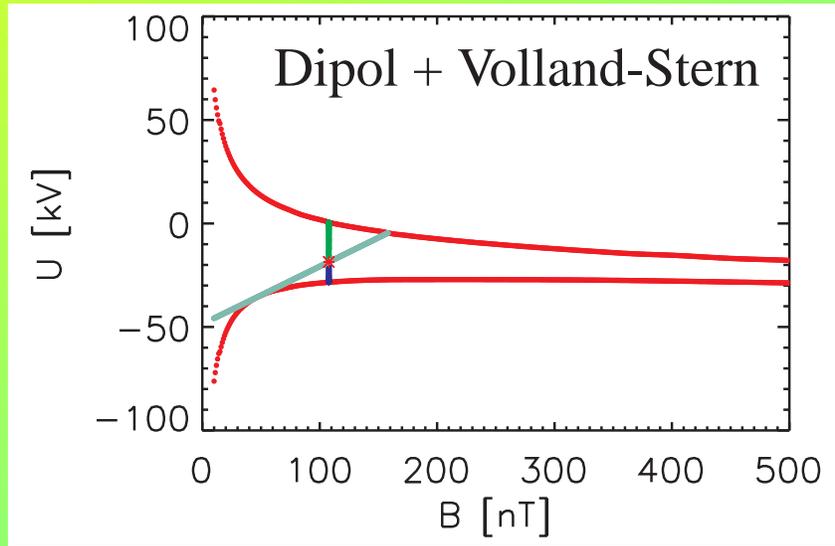
Dawn-Dusk Terminatoren mit beliebigen Feldmodellen

Dipol + Volland-Stern



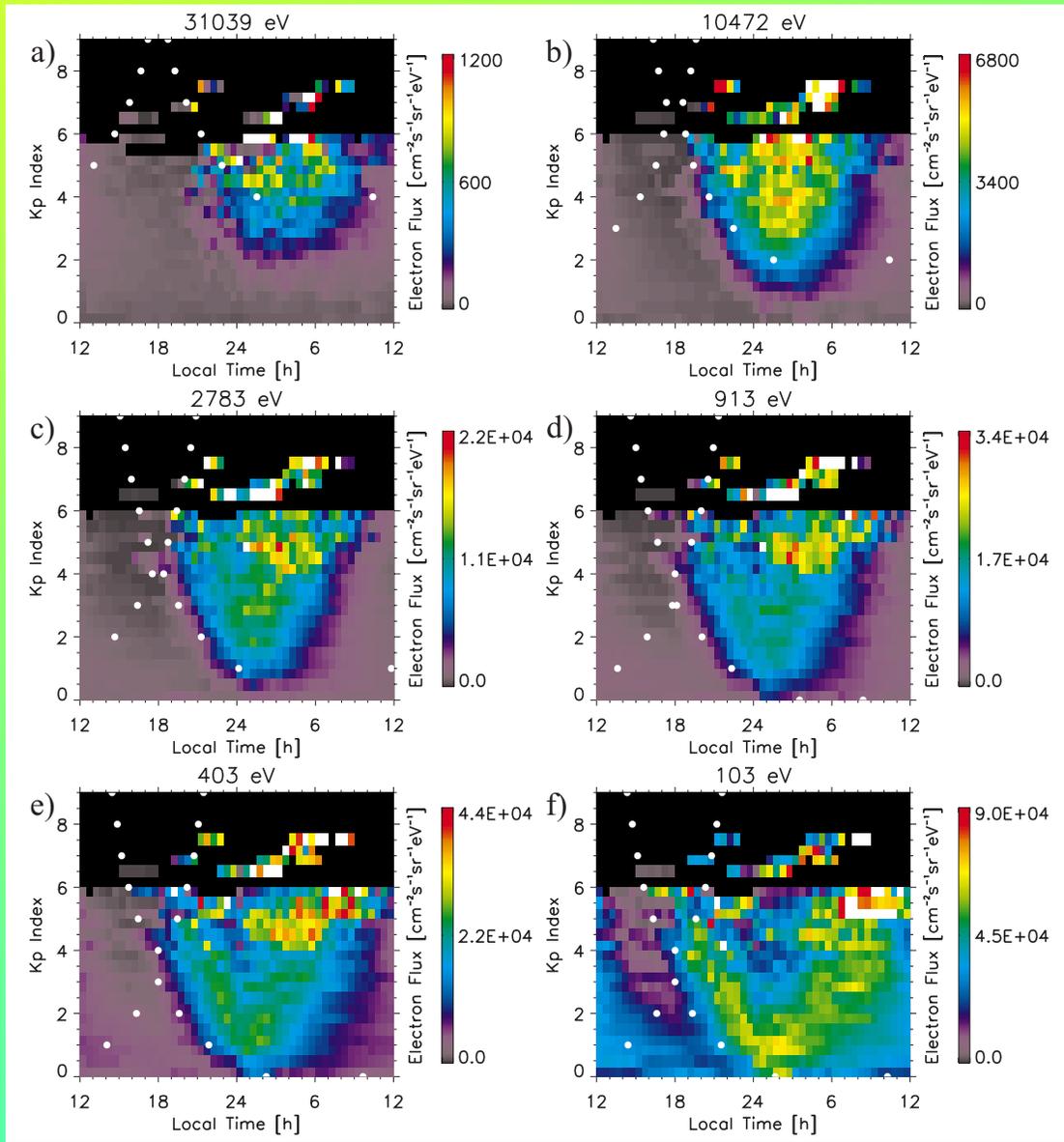
Tsyg. 89c + Sojka 86

Alfvén Layer Übergangsanalyse mit beliebigen Feldmodellen



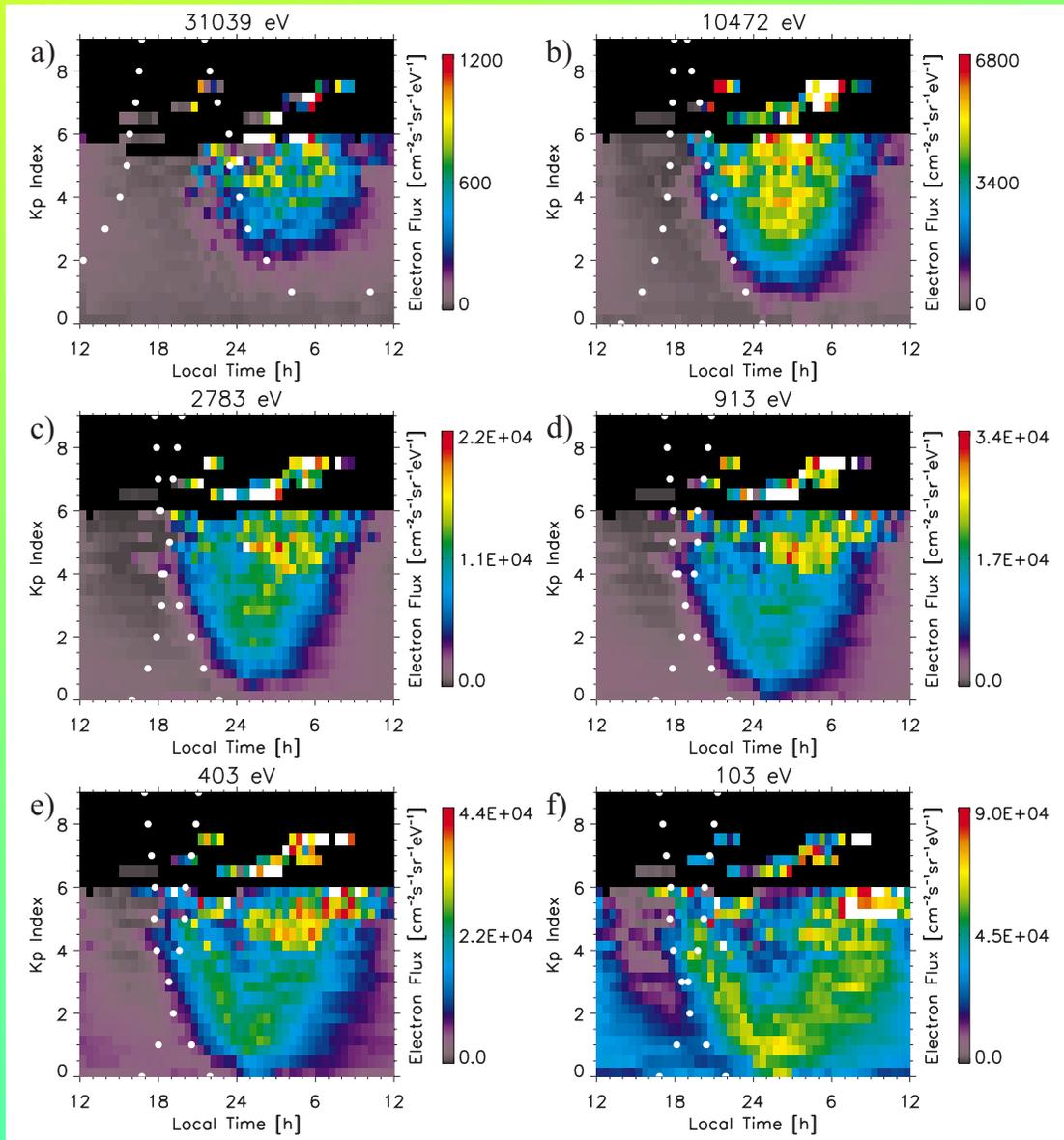
Numerische Analyse: Elektronen 1996

Dipol und Volland-Stern



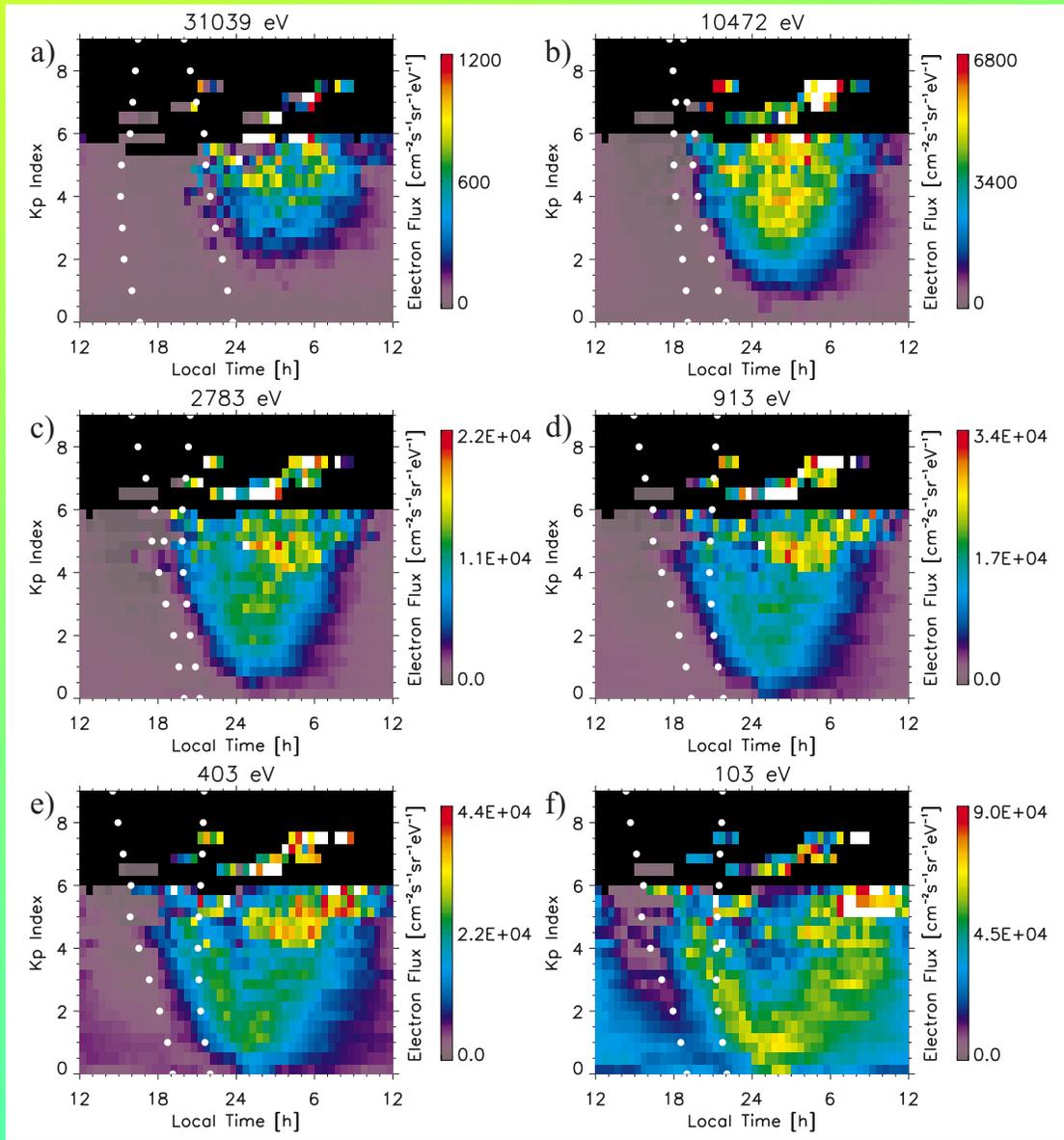
Numerische Analyse: Elektronen 1996

Tsyganenko 89c + Dipol und Sojka 86 + Korotation

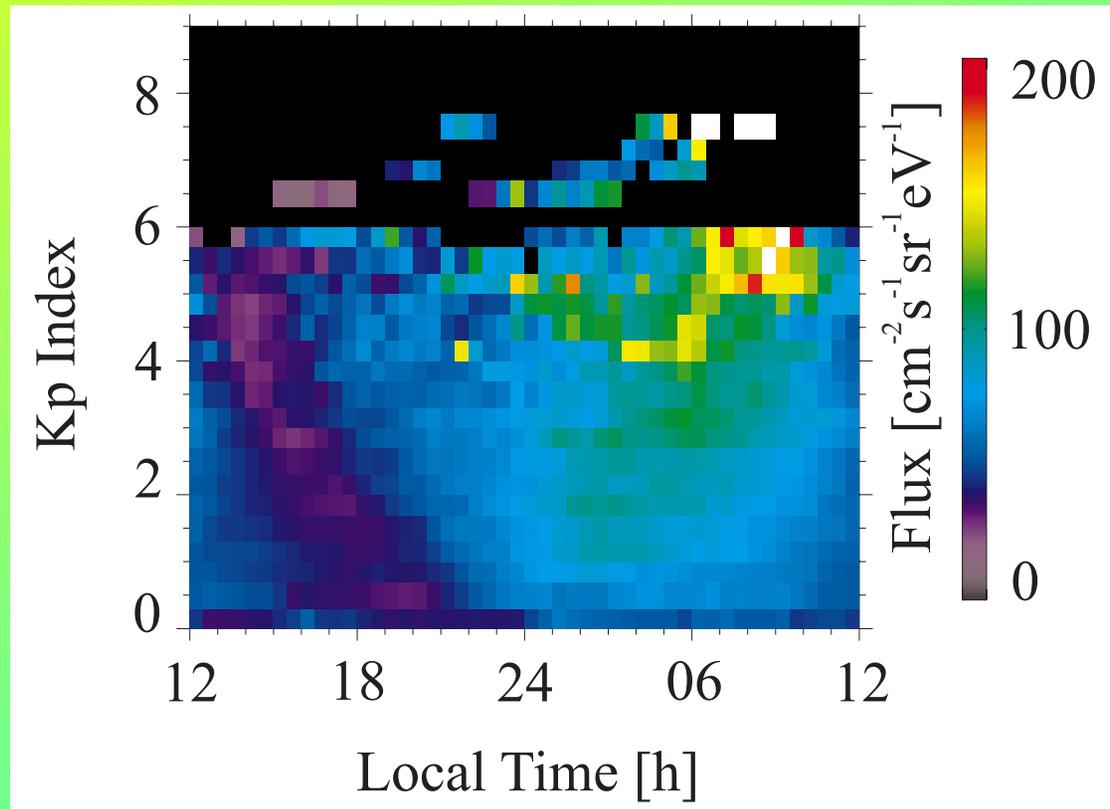


Numerische Analyse: Elektronen 1996

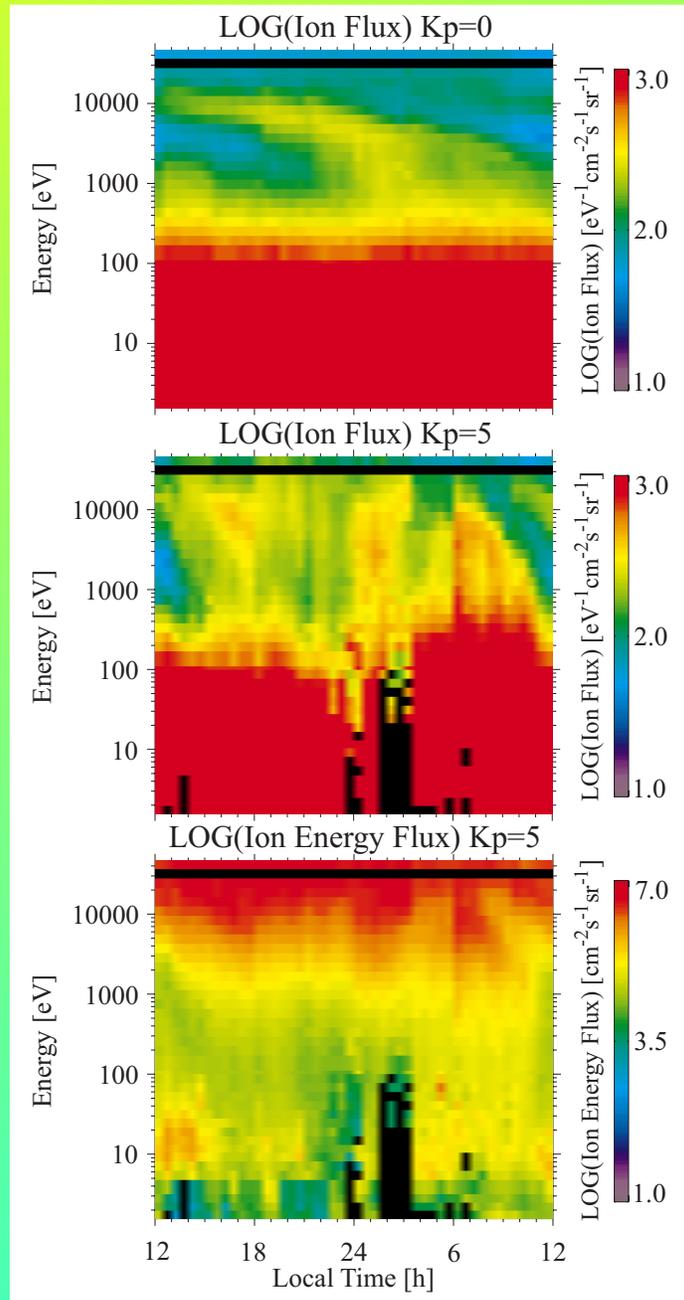
Tsyganenko 89c + Dipol und Weimer 96 + Korotation



Fluß-Statistik für 1.0 keV Protonen



Gemittelte Energie-Zeit-Spektrogramme



Zusammenfassung

- **Das elektrische Feld läßt sich mit dem Kp Index sinnvoll parametrisieren.**
- **Die Statistik zeigt Hinweise auf Verlustprozesse während der Drift:
Elektronen → Niederschlag in der Aurora,
Protonen → Ladungsaustausch mit exosphärischen Neutralteilchen.**
- **Sojka Modell: Überschätzt Konvektion bei niedrigen Kp,
Unterschätzt Konvektion bei hohen Kp.**
- **Weimer Modell: Konvektion wird generell überschätzt.**
- **Hohe Flüsse auf der Morgenseite sind evtl. ionosphärischen Ursprungs.**

